

# 液状化に起因する上下水道管路の被害特性 などに関する調査 (その1 下水道)

小西 康彦<sup>1</sup>・佐藤 清<sup>2</sup>・宮本 勝利<sup>3</sup>・飛田 哲男<sup>4</sup>・鋤田 泰子<sup>5</sup>  
砂坂 善雄<sup>6</sup>・松橋 学<sup>7</sup>・高橋 達<sup>8</sup>・日置 潤一<sup>9</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社日水コン 下水道事業部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)  
E-mail:konisi\_y@nissuicon.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社大林組 生産技術本部設計第一部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)  
E-mail:sato.kiyo@obayashi.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社日水コン 大阪水道事業部 (〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101)  
E-mail:miyamoto\_k@nissuicon.co.jp

<sup>4</sup>正会員 京都大学准教授 防災研究所地盤災害研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄E-414D)  
E-mail:tobita.tetsuo@kyoto-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1)  
E-mail:kuwata@kobe-u.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30)  
E-mail:sunasaka@kajima.com

<sup>7</sup>国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)  
E-mail: matsuhashi-m92ta@nilim.go.jp

<sup>8</sup>正会員 茅ヶ崎市 下水道河川建設課 (〒253-8686 茅ヶ崎市茅ヶ崎1-1-1)  
E-mail:s-takahashi65d@city.chigasaki.kanagawa.jp

<sup>9</sup>元厚生労働省 健康局水道課 (〒100-8916 東京都千代田区霞ヶ関1-2-2)

東日本大震災では東京湾岸埋立地や利根川下流域を中心に広域的な液状化が発生し、住宅や道路、上下水道施設等に甚大な被害を与えた。筆者らは、浄水場や下水処理場および上下水道管路網の地震被害軽減対策を研究しており、上下水道施設の被害と液状化の関連性や液状化対策に関する知見を得るために、液状化被害が顕著であった浦安市、千葉県、潮来市、鰯川浄水場の他、兵庫県南部地震で被災した尼崎市に対してヒアリング調査を実施した。本報告ではヒアリングの内容をもとに、下水道管路の被害の特徴について整理し、地盤の液状化と被害の関連性や対策について考察した。なお、(その2)では上水道管路について報告している。

**Key Words :** residential land, countermeasures against liquefaction, earthquake damage, water supply system, sewerage system

## 1. はじめに

上水道施設および下水道施設は、生活に不可欠のライフラインであり、地震時にも損傷しないこと、あるいは損傷しても早期に復旧できることが必要である。しかしながら過去の大地震において、これら施設は大きな被害を受けることが多く、被災住民への飲料水の供給を断

ち、また、清潔な生活環境を奪うなどの直接的なダメージを与えてきた<sup>1)</sup>。

こうした状況のもと、各自治体では、上水道管路については強度や靱性に富んだダクタイル鋳鉄管への布設替えや、離脱防止機能を有する耐震継手の採用などを行い、下水道管路についてはマンホールの浮上り防止や、マンホールと管路の継手部を可とう化するなどの方法により、

耐震性の向上を図っている。しかしながらこれらの対策では、浄水場や下水処理場と各家庭とをつなぐ大小管路による巨大な水循環ネットワークを効率的に耐震化できていないのが現状である。

一方、東日本大震災では東京湾岸埋立地や利根川下流域を中心に広範囲に液状化が発生し、上下水道管路の被害を甚大化させた。しかしながら、各種設計指針<sup>2)3)4)</sup>では浮上りの照査等は示されているものの、多様な被害パターンに十分対応できているとは言えず、被害実態と合致した設計がなされているとは必ずしも言い難い。

筆者らは液状化による管路の被害に着目し、東日本大震災で液状化被害を受けた自治体にヒアリングを実施した。本報では下水道管路を対象を絞り、ヒアリングの結果から被害実態と液状化との関連性をまとめ、さらには効果的な対策工法について考察した。

## 2. 下水道管路の特徴と設計法の概要

上水道と下水道の大きな違いは管路の流下方式にあり、前者が圧送方式であるのに対し後者は自然流下方式である。そのため、上水道管路は一般的に地下水位より浅い位置に埋設されるのに対し、下水道管路は下流になるに従って徐々に深くなって、管路の大部分は地下水位よりも深い位置に埋設される。このように地下水位以下に埋設される下水道管路は、地震による地盤の液状化に起因した被害が増大している。

「下水道施設の耐震対策指針と解説-2006年版-」<sup>4)</sup>は2004年新潟県中越地震の被災結果の分析を反映して改訂されているが、特に周辺地盤が液状化しにくい地盤条件における埋戻し部の液状化によりマンホールや管きよの浮上が甚大であったことから、新設における埋戻し部の液状化対策を記載している。その対策としては、①砂の締固め（締固め度90%以上を確保）、②碎石埋戻し、③埋戻し土の固化の3方法を提示しており、自治体の実情に応じて3方法の中から選定すべきとしている。

一方、東日本大震災では従来の埋戻し部のみでなく広域的に液状化が発生した。広域的に液状化が発生した地域は元々海岸や沼であったものを浚渫造成した地区であり、下水道管路の被害はマンホールや管路の浮上は少なく、たるみや蛇行、継手の抜出しや破損により下水道の使用制限となった。全域に渡って噴砂が道路に堆積し地盤が沈下して家屋が傾斜するなど甚大な被害となったが、このような被害は2006年版指針<sup>4)</sup>では想定していない液状化被害であった。

## 3. ヒアリングによる調査方法

### (1) ヒアリング調査の目的

「1. はじめに」で述べたように、東日本大震災では液状化の被害を受けた地域で、上下水道管路の被害が顕著になった。そこで、液状化の被害が甚大であった自治体を対象にヒアリングを行い、上下水道管路の被害実態と液状化の状況について調査した。さらに、液状化によって個人住宅が被災した自治体では、住宅地を対象とした広域的な液状化対策を検討、あるいは実施している。広域的な住宅地の液状化対策は、下水道などの公共施設の液状化対策にもなり得ると考えられるため、ヒアリングではそれらについても調査した。

### (2) ヒアリングした自治体および施設

ヒアリングを実施した自治体および施設は、以下のとおりである。

- ①浦安市
- ②千葉県水道局
- ③潮来市（日の出地区）
- ④鰯川浄水場（茨城県企業局鹿行水道事務所）

①浦安市<sup>5)</sup>、②千葉県<sup>6)</sup>、③潮来市<sup>7)</sup>については東日本大震災において液状化による甚大な被害が発生し、上下水道管路をはじめ、多くの個人住宅も液状化被害を受けた。「④鰯川浄水場」は東日本大震災における液状化によって、浄水場施設及び場内管路に大きな被害が発生した<sup>8)</sup>。本報は下水道管路を考察の対象としていることから、①浦安市、③潮来市（日の出地区）に絞ってヒアリング結果をまとめる。上水道被害に関するヒアリング結果については文献<sup>8)</sup>を参考にされたい。

## 4. 下水道管路の被害に関するヒアリング結果

### (1) 浦安市

#### a) 地盤の特徴と液状化被害

浦安市はその大部分が1965～1980年に造成された埋立地であり、東日本大震災では市面積17km<sup>2</sup>の86%が液状化した。地下水位はGL-2.0m程度の地域が多く、地下水位以深に10～15m程度堆積するFs層およびAs層が液状化したと推定されている<sup>9)</sup>。

浦安市は被災直後から委員会を立ち上げ、住宅地の液状化対策の検討に取り組んできた。検討により格子状改良工法と地下水位低下工法が候補となり、試験施工の結果などを考慮して、最終的には格子状地盤改良工法を推奨している。地下水位低下工法については、地盤の特徴

から汲上げ井戸方式によってGL-5.0mまで水位を低下しないと確実な効果が得られず、その場合地盤沈下（不等沈下）のリスクが避けられないと判断されたことから、採用を断念している。

### b) 下水道管路の被害

浦安市の下水道管きょ総延長約 290km のうち、平成 23 年 6 月 21 日現在で汚水管被害延長は約 24km であり被害率は 8.3%となっているが、この時点で全てを把握できていないため、調査が進むにつれて被害率が増加することは確実である。汚水管きょの被害状況図を図-1 に示す。埋立て前の旧街区である元町の被害はなく、昭和 40 年代に埋立てられた中町の住宅地に被害が集中し、昭和 50 年代に埋立てられた新町にも所々被害が発生している。被害のあった汚水管の管径はφ200～φ1200 と管径の別なく被害を受けている。被害延長ではφ300 未満が 7 割強と圧倒的であるが被害率では 17%でありφ400～φ500 未満の被害率 36%に比べると少ない。

被害のあった汚水管約 24km は幹線系統が 5km、枝線系統が 19km となっている。これを管種別では、幹線系統が鉄筋コンクリート管 4km で硬質塩化ビニル管 1km であり、枝線系統が鉄筋コンクリート管 2.4km、硬質塩化ビニル管 9.5km、硬質塩化ビニル卵形管 6.7 km、その他 0.4km となっている。

管路の具体的な被害状況を管種別に示したのが図-2 である。被害の内容としては、たるみや蛇行が 8 割弱、継手のズレや脱却・浸入水が 5 割弱、破損やクラック・変形が 3 割強である。また、液状化が原因と思われる土砂流入による管路閉塞は全管路延長の実に 6 割の 130km におよんでいる。

マンホールは総数約 6000 基のうちで 10 cm 以上浮上したのは 120 基で被害率は 2%と少ない。また、躯体ブロックのズレのあったマンホールは 190 基であり被害率は 3.2%であった。

マンホールの具体的な被害状況を材料別に示したのが図-3 である。被害の内容としては、破損・クラック・変形が 3 割強と最も多く、蓋の異状や躯体ズレ、マンホールの浮上がそれぞれ 2 割強となっていて、マンホールの沈下や管口突出し・拔出し、10 cm 以上の滞水はそれぞれ 5～7%程度であった。また、液状化が原因と思われる土砂流入による堆積は全マンホール数の 6 割強となっている。代表的な本管の被害写真を写真-1、2 に、マンホールの被害写真を写真-3、4 示す。

## (2) 潮来市（日の出地区）

### a) 地盤の特徴と液状化被害

潮来市日の出地区はもともと内浪逆浦と呼ばれる沼地で、常陸利根川の浚渫土で埋め立てられた約 1.96km<sup>2</sup>の



図-1 汚水管きょの被害状況図<sup>5)</sup>

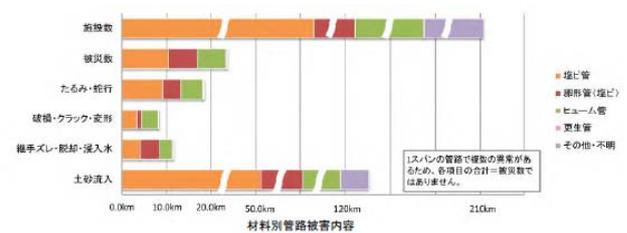


図-2 管種別管路被害<sup>5)</sup>

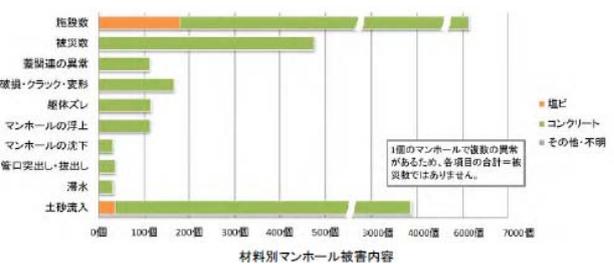


図-3 材料別マンホール被害<sup>5)</sup>



写真-1 本管継手の離脱

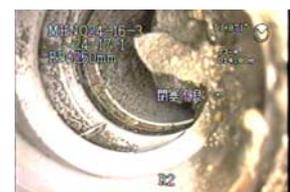


写真-2 取付け管の閉塞



写真-3 マンホール土砂閉塞



写真-4 マンホールブロックのズレ

造成地である。昭和初期に農地として干拓され、昭和 40 年代には宅地として整備された。地下水位は GL-1.0m 程度で、東日本大震災では厚さ最大 5m 程度の埋土層が液状化し、地区全域で液状化被害が発生した<sup>7)</sup>。

潮来市は浦安市と同様に被災直後から委員会を立ち上

げ、液状化対策の検討を実施しており、その結果、地下水位低下工法（自然流下方式）を採用し、既に施工が開始されている。地下水位低下工法の採用理由の1つが、液状化層の下に存在する不透水層であり、これがお椀状の止水壁となるため、鋼矢板等で止水壁を別途施工する必要がない。また、実証実験によって不等沈下の可能性が低いことを確認している。上下水道施設の復旧は既に実施済みであり、上水道は耐震管路への布設替え、下水道は碎石埋戻し土など、それぞれに液状化対策を実施している。

## b) 下水道管路の被害

潮来市で最も下水道施設の被害が顕著であった日の出地区を中心にヒアリングを行った。潮来市の下水道管きよ総延長 161.5km のうち汚水管の被害延長は 24km で被害率 14.8%であったが、日の出地区に限れば被害延長 21.5km であり潮来市全体の被害のほぼ 9 割が日の出地区に集中していることになる。（図-4）



図-4 下水道管きよの被災状況<sup>7)</sup>

下水道管きよの被害形態としては、写真-5 に示すような管路の浮上が主であった。



写真-5 管きよの被害

## 5. 下水道管路の被害実態と液状化との関連性

浦安市は市域の 3/4 が昭和 40 年代初めからの浚渫埋立てにより造成された土地から成り立っている。埋立て以前は市域約 400ha 程度の元町地区であり、第一期埋立て地区が中町、第二期埋立て地区が新町である。浦安市の土層構成図の一例を図-5 に示す。大きく 3 層に分けられ、地表面から埋土・細砂層、軟弱シルト層、洪積細砂層となっていて、地下水位は GL-1.5m～2.0m 程度であることから東日本大震災で広域的液状化が発生したのは第 1 層である。図-6 に土被り別の管路被害延長を示すが、土被り 1.0～1.9m の被害が最も多く（約 10km 弱）、全ての管きよが土被り 8m 未満で被害を受けていることから、第 1 層の細砂層の液状化によるものと推測される。

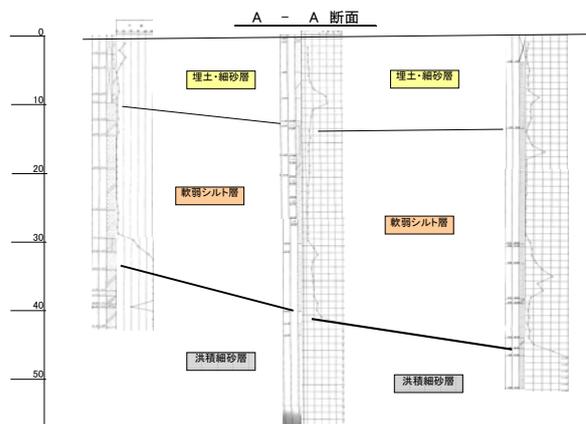


図-5 浦安市の土層構成図

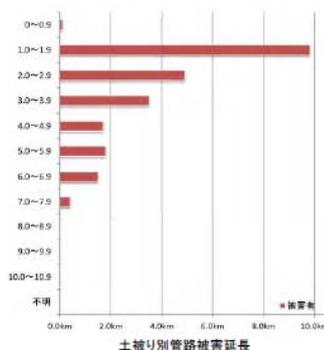
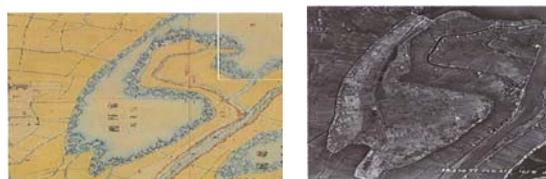


図-6 土被り別管路被害延長<sup>5)</sup>

一方、潮来市日の出地区は、1930 年頃まで図-7 左図に示すような沼池（浪逆沼）であったものが干拓事業により埋立てが開始され、図-7 右図に示すように 1950 年に干拓造成事業が完成、1974 年には 196ha の造成工事が完成し、それまでの浪逆地区を「日の出地区」と名付けられたものである。

図-8、9 に日の出地区の標準的な土層断面図を示す。図中の浚渫土（第 1 層）は砂質土系で液状化しやすい層であり、第 2 層はシルト・粘性土系（青）、第 3 層はシルト質細砂系（黄色）で構成されている。

埋立て造成した地区の広域的な液状化という視点では浦安市と潮来市は同じような地盤条件と思われる。浦安市は東京湾岸域の海浜埋立地域であり、同様な液状化による被害が東京都新木場や習志野市、千葉市などの湾岸域で発生している。一方、潮来市は内陸の湖沼を埋立て造成した地域であり、同様な被害が埼玉県や茨城県の内陸部にも見られる。



(1890 年頃)

(1947 年頃)

図-7 日の出地区の変遷<sup>7)</sup>

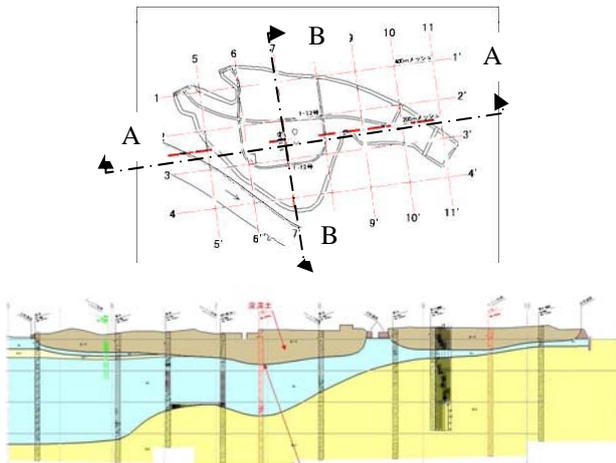


図-8 A-A 土層断面図<sup>7)</sup>

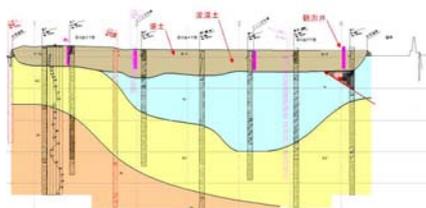


図-9 B-B 土層断面図<sup>7)</sup>

## 6. 下水道管への液状化対策に関する考察

東日本大震災における液状化被害の特徴は、中越地震時に見られた写真-6に示すような埋戻し土部分のみでなく、写真-7に示すような全域での噴砂及び地盤沈下であり、下水道部局のみの対応には限界があり地域全体の問題として捉える必要がある。



写真-6 中越地震時



写真-7 東日本大震災時

一方で、災害復旧は住民サービスの観点から待ったなしで進めるべきものであり、上下水道・道路・住宅などの各部局はそれぞれ復旧における制約条件が異なるため個別に進められ、その連携は難しいのが現状である。また、下水道や街路などの災害復旧は「都市災害復旧事業」として補助金の対象となる事業のため、部局別に災害査定を受ける必要があつて連携が難しい原因ともなっている。結果として、上下水道及び道路の復旧が個別に進んでいく中での住宅再建を含めた広域液状化対策が並行的に進む、ということにならざるを得ない。

市街地管路網の液状化対策を住宅地の液状化対策との兼用で考える場合、沈下や格子ピッチの問題から、レベル2に対応させることは難しい。しかしながらライフラ

インはレベル2対応とすることが望ましいため、広域対策と個別対策を併用することは耐震性の向上に効果的となっている。図-10は管路への個別対策の一例であるが、管路の布設替えに当って粘性土層に根入れした鋼矢板を存置し、埋戻し土を固化することによって液状化対策としている。

広域液状化対策の選定には、対象地域の規模、遮水壁の代わりとなる既存構造物や地層の存在、液状化層の層厚や土質など、様々な要因が影響する。管路の対策に着目すれば、切り回しなど特別な施工が不要となる地下水水位低下工法が有利と考えられる。

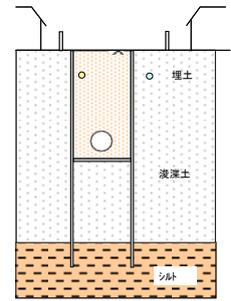


図-10 管路の個別対策例

浄水場や下水処理場施設の液状化対策を考える場合、建物直下に施工できない格子状改良よりも、地下水水位低下工法に優位性がある。ただし、地下水水位低下工法をレベル2地震に対応させる場合、より深くまで地下水水位を下げる必要があり、圧密沈下などの影響を考慮する必要が生じる。一方、格子状地盤改良については、浮上りが問題となるボックスカルバートの側部に施工するなど、施工箇所を限定すれば、効果的な対策になり得る。また、建屋周辺を囲うように改良体を配置すれば、直下の液状化を防ぐことが出来なくても、杭の損傷を低減させる効果は期待できる。また、格子ピッチを狭くすることなどにより、レベル2地震にも対応しやすいく。

兵庫県南部地震の際、埋立て造成した尼崎市築地地区において広域液状化により住宅に甚大な被害が発生したため、復旧に際し液状化対策として地下水水位低下工法が採用されていた<sup>9)</sup>。筆者らは尼崎市築地地区を訪問し、地区周囲が元々遮水壁で遮断されていること、有孔管を埋設した後に1.5m程度の盛土を行い地下水位をGL-3.0mに設定していること、区画整理が完了して7年が経過し年間の維持管理費は数10万円程度となっていることなどを確認している。

一方、神戸市のMホテル（S14階建て）では格子状改良工法が採用されていた結果、兵庫県南部地震で液状化被害はなかった。浦安市のD駐車場（SRC4階建て）でも東日本大震災で液状化被害はなかった。

一般に地下水水位低下工法に比べ格子状地盤改良は高価になる場合が多いが、施工箇所を絞り込むことにより、格子状改良のほうが安価になる可能性もある。また、格子状改良は今回の浦安市での対策実施を機に、狭隘部での施工方法など工法の改善や工夫が実施されており、その成果は他の案件でも効果を発揮すると考えられる。

## 7. まとめ

本論は、東日本大震災で広域液状化により被災した浦安市と潮来市に被害の状況や復旧対策についてヒアリングを行った結果を下水道施設の観点からまとめたものである。

現在、広域液状化対策として「地下水位地下工法」と「格子状改良工法」の2工法が挙げられ、地域の状況に応じて選定され工事が進められている。これら対策は、上下水道や道路などの個別対策と併用することで耐震性を向上させる効果があると考えられるが、工事時期や費用分担などの面で連携が可能であればなお一層の効果が期待できる。

謝辞：本研究において実施したヒアリング調査では、千葉県水道局、浦安市、潮来市、鰯川浄水場に加えて尼崎市のご担当者の皆様より、多くの貴重な情報をご提供頂きました。また、潮来市へのヒアリングでは中日本建設コンサルタントの皆様それぞれご協力頂きました。さらに、尼崎市のヒアリングでは諏訪靖二様に当時の貴重な情報を御提供いただきました。本研究は土木学会地震工学委員会「水循環NW施設災害軽減対策研究小委員会（小委員長：金沢大学・宮島昌克教授）」の活動として実施したもので、小委員長をはじめ委員各位には多くのご助言を頂きました。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば、厚生労働省健康局水道課：東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書，平成 25 年 3 月。
- 2) 例えば、公益社団法人日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，2009。
- 3) 例えば、公益社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2014
- 4) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2006 年版
- 5) 例えば、浦安市液状化対策技術検討調査委員会他：平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書，平成 24 年 3 月。
- 6) 例えば、千葉県環境研究センター：千葉県環境研究センター調査研究報告 G-8 号，平成 23（2011）年東北地方太平洋沖地震時の房総半島における液状化一流動化現象，第 1 報～第 5 報，平成 24 年 8 月。
- 7) 例えば、潮来市液状化対策検討委員会：日の出地区液状化対策検討委員会報告書。
- 8) 宮本勝利，佐藤清，小西康彦，飛田哲男，鍛田泰子，砂坂善雄，橋本学，高橋達，日置潤一：液状化に起因する上下水道管路の被害特性と対策方法に関する調査—その 1 上水道—，第 34 回地震工学研究発表会（投稿中）。
- 9) 諏訪靖二，福田光治，濱田晃之，本郷隆夫，執行晃：液状化対策のための地下水位低下工法による実施例，第 10 回地盤改良シンポジウム論文集，2012.10

## Hearing investigation for damage on water and sewage systems after the 2011 Tohoku off-the pacific coast, Japan, earthquake - Part I: Sewage systems

Yasuhiko KONISHI, Kiyoshi SATO, Katsutoshi MIYAMOTO, Tetsuo TOBITA, Yasuko KUWATA, Yoshio Sunasaka, Manabu Matsushashi, Satoru TAKAHASHI and Junichi HIOKI

Occurrence of liquefaction in the wide range of Kanto plain has been reported after the great Tohoku earthquake. Tremendous damage associated with the liquefaction includes damage on residential houses, roads, and water and sewage systems. As professional engineers and researchers who design and construct water treatment and sewage plants and pipelines, and study geotechnical site conditions, the authors conducted investigation through interviewing with the responsible personnels in Chiba Prefecture, Urayasu city, Itako city, Wanigawa water treatment plant, and Amagasaki city which suffered severe damage at the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake. Based on the hearing investigation, analyses are made on characteristics of those damages due to liquefaction and local site conditions and some measures for mitigation are introduced. In addition, Part II has reported the water supply system.